ANALISIS DAYA DUKUNG PONDASI TIANG PANCANG DIVERIFIKASI DENGAN HASIL UJI *PILE DRIVING ANALYZER TEST* DAN *CAPWAP*
(Studi Kasus Proyek Pembangunan Gedung Kantor Bank Sumsel Babel di Pangkalpinang)

Andi Yusti
Alumni Jurusan Teknik Sipil Universitas Bangka Belitung
Email:andiyusti.ay@gmail.com

Ferra Fahriani
Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil Universitas Bangka Belitung
Email:f2_ferra@yahoo.com

ABTRAK

Pondasi adalah struktur bagian bawah bangunan yang berhubungan langsung dengan tanah, atau bagian bangunan yang terletak dibawah permukaan tanah yang mempunyai fungsi memikul beban bagian bangunan lain diatasnya (Joseph E. Bowles, 1997). Pada pengaplikasian dilapangan sering mengesampingkan analisis daya dukung pondasi dan penurunan pondasi yang tepat. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis dan membandingkan daya dukung pondasi tiang tunggal secara analitis dan numeris dengan pengujian dinamik tes di lapangan atau Pile Driving Analyzer (PDA) dan CAPWAP. Secara analitis, perhitungan dilakukan dengan analisis manual menggunakan metode Bagemann, deRuiter dan Beringen, Mayerhof (1976), Mayerhof (1956), α*, Tomlinson (1977) yang dilakukan dengan menghitung kapasitas daya dukung pondasi tiang pancang berdasarkan data-data dari lapangan yang didapat dari pengujian CPT dan SPT, sedangkan numeris yaitu menghitung dengan menggunakan metode elemen hingga menggunakan program Plaxis 2D V.8. Perhitungan dilakukan pada dua titik pengujian dilapangan yaitu titik S1, S2 untuk pengujian CPT sedangkan pengujian SPT yaitu titik BH1, BH2 yang akan diverifikasi dengan pengujian PDA dan CAPWAP pada Proyek Pembangunan Gedung Kantor Bank Sumsel Babel di Pangkalpinang.Dari hasil analisis secara manual dan program, dapat disimpulkan bahwa metode Mayerhof (1956) memiliki nilai rentang paling kecil dibandingkan dengan metode-metode lainya yang diverifikasi dengan pengujian PDA dan CAPWAP. Nilai* Q_u *sebesar 128,298 ton berbanding 118 ton, dan 102 ton pada titik BH1. Sedangkan pada titik BH2* Q_u *sebesar 118,679 ton berbanding 165 ton, dan 163 ton.*

K**ata kunci** *: Pondasi, Daya dukung pondasi, Plaxis 2D, PDA, CAPWAP.*

PENDAHULUAN

Bangunan struktur gedung sipil terdiri dari struktur atas dan struktur bawah. Bangunan struktur atas terdiri dari konstruksi kolom, balok, plat, dll. Sedangkan untuk struktur bawah terdiri dari konstruksi pondasi. Pondasi adalah struktur bagian bawah bangunan yang berhubungan langsung dengan tanah, atau bagian bangunan yang terletak dibawah

permukaan tanah yang mempunyai fungsi memikul beban bagian bangunan lain diatasnya (Joseph E. Bowles, 1997).

Pondasi merupakan bagian penting dari satu bangunan sipil, pondasi sebagai dasar penahan beban terdasar dari suatu konstruksi. Jalan, gedung, jembatan, bendungan, dan kontruksi sipil lainnya tanpa pondasi yang kuat pasti akan mengalami kegagalan kontruksi. Pada pengaplikasian dilapangan sering mengesampingkan analisis daya dukung pondasi yang tepat. Desain pondasi hanya berdasarkan pengalaman pribadi, sehingga penulis menganggap hal ini perlu di angkat karena pondasi menjadi landasan terpenting dari keberhasilan dalam bangunan sipil.

Pondasi ada dua jenis, yaitu pondasi dangkal dan pondasi dalam. Pondasi dangkal adalah pondasi yang tidak membutuhkan galian tanah terlalu dalam karena lapisan tanah dangkal sudah cukup keras, apalagi bangunan yang akan dibangun hanya rumah sederhana. Sedangkan pondasi dalam adalah pondasi yang membutuhkan pengeboran atau pemancangan dalam karena lapisan tanah yang kerasberada di kedalaman cukup dalam, biasanya digunakan oleh bangunan besar, jembatan, struktur lepas pantai, dan sebagainya. Jenis pondasi dalam terbagi lagi menjadi dua, yaitu pondasi tiang dan pondasi bor. Tiang pancang merupakan salah satu contoh jenis pondasi tiang pada pondasi dalam. Penentuan jenis pondasi yang akan digunakan dipengaruhi beberapa faktor, diantaranya adalah kedalaman tanah keras, jenis tanah pada lokasi, dan beban yang akan dipikul oleh pondasi. Jenis tanah lempung (*clay*) dengan tanah keras yang terletak pada kedalaman yang dalam dan apabila beban yang harus dipikul pondasi besar sangat cocok digunakan pondasi tiang pancang sebagai pilihan dalam kontruksi bangunan.

Ada beberapa metode yang dapat digunakan untuk perhitungan daya dukung pondasi tiang pancang. Pemilihan metode yang digunakan tergantung dengan parameter data tanah yang dipakai. Pengujian tanah dilapangan yang paling sering dilakukan biasanya terdiri dari uji sondir dan bor log.

Pembahasan dalam penelitian ini adalah analisis daya dukung pondasi tiang pancang secara manual, program dengan beberapa metode yang akan diverifikasi dengan hasil dinamik tes dilapangan yaitu *PDA* dan *CAPWAP*. *Pile Driving Analyzer* (*PDA*) adalah sistem yang paling banyak digunakan untuk pengujian beban secara dinamik dan pengawasan pemancangan di dunia. *PDA* akan menghasilkan keluaran (*output*) berupa daya dukung ultimit pondasi (Q_u). Penginputan data *PDA* yang dianalisis dengan *CAPWAP* akan menghasilkan keluaran (output) berupa daya dukung ultimit pondasi (Q_u), daya dukung gesek tiang (Q_u), Daya dukung ujung tiang (Q_u), penurunan total, dan penurunan maksimum pada tiang.

TINJAUAN PUSTAKA

Parameter-Parameter Tanah

Ada beberapa parameter-parameter tanah yang menjadi acuan untuk mendapatkan korelasi data laboratorium berdasarkan observasi di lapangan. Hasil pengujian *Standard Penetration Test* (SPT)

selain mendapatkan nilai (*N*-SPT), juga dapat diketahui struktur geologi tanah pada titik lokasi pengujian. Dengan melakukan pendekatan struktur geologi tanah dapat diketahui angka pori (*e*), kadar air dalam keadaan jenuh (*w*), berat volume kering, dan berat jenis tanah (*Gs*) untuk mendapatkan korelasi data yang akan digunakan untuk analisis daya dukung pondasi tiang pancang

Tabel 1 Hasil interprestasi data tanah titik BH1

Data Lapangan			*Data Korelasi*					
Kedalaman (m)	*Jenis Tanah*	*N-SPT*	*Gs*	*e*	*w (%)*	*cu (kN/m²)*	*γ (t/m³)*	*γ_{sat} (t/m³)*
0-5,50	*Lempung*	*6,4*	*2,715*	*1,15*	*40*	*36,667*	*1,768*	*1,798*
5,5-7,7	*Lanau*	*7,5*	*2,65*	*0,4*	*15*	*50*	*2,177*	*2,179*
7,7-11	*Lempung*	*9,2*	*2,715*	*1,15*	*40*	*60*	*1,768*	*1,798*
Nop-15	*Lempung*	*26*	*2,715*	*1,15*	*40*	*180*	*1,768*	*1,798*
15-28	*Lempung*	*60*	*2,715*	*1,15*	*40*	*375*	*1,768*	*1,798*
28-30	*Lempung*	*60*	*2,715*	*1,15*	*40*	*375*	*1,768*	*1,798*

Tabel 2 Hasil interprestasi data tanah titik BH 2

Data Lapangan			*Data Korelasi*					
Kedalaman (m)	*Jenis Tanah*	*N-SPT*	*Gs*	*e*	*w (%)*	*cu (kN/m²)*	*γ (t/m³)*	*γ_{sat} (t/m³)*
0-5,10	*Lempung*	*7,5*	*2,715*	*1,15*	*40*	*50*	*1,768*	*1,798*
5,10-7,60	*Lanau*	*6,667*	*2,65*	*0,4*	*15*	*36,667*	*2,177*	*2,179*
7,60-8,85	*Lempung*	*8*	*2,715*	*1,15*	*40*	*56,667*	*1,768*	*1,798*
8,85-13,5	*Lanau*	*14,6*	*2,65*	*0,4*	*15*	*93,333*	*2,177*	*2,179*
13,5-17	*Lanau*	*39,8*	*2,65*	*0,4*	*15*	*253,333*	*2,177*	*2,179*
17-18,5	*Pasir*	*53*	*2,67*	*0,45*	*16*	*340*	*2,136*	*2,152*
18,5-24,5	*Lanau*	*56,571*	*2,65*	*0,4*	*15*	*356,667*	*2,177*	*2,179*
24,5-30	*Lanau*	*60*	*2,65*	*0,4*	*15*	*375*	*2,177*	*2,179*

Kapasitas Dukung Ultimit Tiang Tunggal

Kapasitas dukung tiang adalah kemampuan atau kapasitas tiang dalam mendukung beban (Hardiyatmo, 2011). Jika dalam kapasitas dukung pondasi dangkal satuannya adalah satuan tekanan (kPa) maka dalam kapasitas dukung tiang pancang satuannya adalah satuan gaya (kN). Kapasitas ultimit tiang yang dipancang dalam tanah kohesif, adalah jumlah tahanan gesek sisi tiang dan tahanan ujungnya. Besar tahanan gesek tiang tergantung dari bahan dan bentuk tiang. Umumnya, bila tanah homogen, tahanan gesek dinding yang berupa adhesi antara sisi tiang dan tanah akan berpengaruh besar pada kapasitas ultimitnya.

Kapasitas dukung ultimit tiang (Q_u), dihitung dengan persamaan umum yaitu :

$$Q_u = Q_b + Q_s \quad \text{.............................(1)}$$

$$Q_b = A_b f_b \quad \text{...................................(2)}$$

$$Q_s = A_s f_s \quad \text{...................................(3)}$$

dengan,

Q_u = kapasitas dukung ultimit tiang (kN)

Q_b = tahanan ujung ultimit (kN)
Q_s = tahanan gesek ultimit (kN)
A_b = luas ujung bawah tiang (m²)
A_s = luas selimut tiang (m²)
f_b = tahanan ujung satuan tiang (kN/m
f_s = tahanan gesek satuan tiang (kN/m²)

Metode Bagemann

Untuk tiang dalam tanah kohesif, umumnya, tahanan konus (q_c) dihubungkan dengan kohesi tak terdrainase (*undrained cohesion*) (cu), yaitu Bagemann, 1965 dalam (Hardiyatmo, 2011) :

$c_u.N_k = q_c$ (kg/cm²) .... (4)

Nilai N_k berkisar diantara 10-30, tergantung dari sensitifitas, kompresibilitas dan adhesi antara tanah dan mata sondir. Dalam hitungan biasanya N_k diambil antara 15-20. Tahanan ujung tiang diambil pada nilai q_c rata-rata yang dihitung dari 8d diatas dasar tiang sampai 4d dibawah dasar tiang. Tahanan gesek persatuan luas (f_s) dari tiang pancang, secara aman, dapat diambil sama dengan tahanan gesek sisi konus (q_f) Bagemann, 1965 (dalam Hardiyatmo, 2011), yaitu :

$f_s. = q_f$ (kN/m²) .... (5)

Kapasitas ultimit tiang pancang, dinyatakan dengan dalam persamaan :

$Q_u = A_b f_b + A_s f_s$ .... (6)

Metode deRuiter dan Beringen

Untuk tiang pada lempung, tahanan ujung satuan dari analisis tegangan total seperti halnya pada teori kapasitas dukung pondasi dangkal pada tanah lempung :

$f_b = 5c_u$; dibatasi $f_b \leq 150$ kg/cm²

(15000 kN/m²) .... (7)

$c_u = \frac{q_c}{N_k}$ .... (8)

dengan,
f_b = tahanan ujung satuan, maksimum 150 kg/cm² (15000 kN/m²)
c_u = kohesi tak terdrainase (undrianed)
N_k = koefisien tak berdimensi, nilainya antara 15 sampai 20, biasanya diambil 20.

Untuk tiang pada tanah kohesif (lempung), tahanan gesek satuan ditentukan dari nilai kohesi tak terdrainase ($c_u = q_c / 20 = 0{,}05 q_c$) :

$f_s = \alpha(q_c / N_k) = 0{,}05\alpha.q_c$ .... (9)

dengan,
f_s = tahanan gesek satuan, maksimum 1,2 kg/cm² (120 kPa)
c_u = kohesi tak terdrainase (*undrained*)
α =faktor adhesi, diambil 1 untuk lempung terkonsolidasi normal, dan 0,5 untuk lempung terkonsolidasi berlebihan
N_k = koefisien tak berdimensi, nilainya antara 15 sampai 20, biasanya diambil 20.

Metode Mayerhof 1976

Kapasitas ultimit tiang dapat dihitung secara empiris dari nilai N hasil uji SPT. Mayerhof (1976) mengusulkan persamaan untuk menghitung tahanan ujung tiang :

$Q_b = A_b(38\overline{N})(L_b / d) \leq 380\overline{N}(A_b)$ .. (10)

dengan $\overline{N}$ adalah nilai N rata-rata yang dihitung dari 8d di atas dasar tiang

sampai 4d di bawah dasar tiang, sedang L_b/d adalah rasio kedalaman yang nilainya dapat kurang dari L/d bila tanahnya belapis-lapis dan $A_{b/}$ adalah luas ujung bawah tiang.

Untuk tahanan ujung tiang dengan memperhatikan faktor kedalaman, Mayerhof (1976) menyarankan untuk tiang dalam lanau tidak plastis :

$$f_b = 0{,}4 N_{60}'(L/d)\sigma_r \le 3N_{60}'\sigma_r \quad .... (11)$$

dengan,

f_b = tahanan ujung satuan tiang (kN/m²)

N_{60}' = N-SPT yang dikoreksi terhadap pengaruh prosedur lapangan dan tekanan overburden

σ_r = tegangan referensi = 100 kN/m²

L = kedalaman penetrasi tiang (m)

D = diameter tiang (m)

Nilai maksimum dari persamaan diberikan, bila $L/d \geq 7{,}5$. Dalam menghitung tahanan gesek satuan (f_s), Mayerhof, 1976 (dalam Hardiyatmo, 2011) menyarankan untuk tiang perpindahan besar (tiang pancang) pada tanah kohesif :

$$f_s = \frac{1}{50}\sigma_r N_{60} \quad .... (12)$$

dengan,

f_s = tahanan gesek satuan tiang (kN/m²)

N_{60} = N-SPT yang dikoreksi terhadap pengaruh prosedur lapangan saja

σ_r = tegangan referensi = 100 kN/m²

Metode Mayerhof 1956

$$Q_u = 40.N_b.A_p + 0{,}2.\overline{N}.A_s \quad ...... (13)$$

dengan,

Q_u = kapasitas dukung ultimit tiang (ton)

N_b = harga N-SPT pada elevasi dasar tiang

A_p = luas penampang dasar tiang (m²)

A_s = luas selimut tiang (m²)

$\overline{N}$ = harga N-SPT rata-rata

Kapasitas dukung ultimit tiang tunggal dengan menggunakan koreasi data laboratorium dihitung dengan rumus umum untuk nilai Q_b.

$$Q_b = A_b f_b \quad ....(14)$$

$$f_b = c_b N_c + p_b \quad ....(15)$$

dengan,

Q_b = tahanan ujung bawah ultimit (kN)

f_b = tahanan ujung satuan tiang (kN/m²)

A_b = luas penampang dasar tiang (m²) = 0,3 x 0,3 = 0,09 m²

c_b = c_u pada kedalaman ujung tiang = 13 meter

N_c = faktor kapasitas dukung (N_c = 9 ; Skempton, 1959)

p_b = p_0 ; tekanan overburden ujung bawah tiang.

Metode α

Untuk menentukan tahanan gesek tiang yang dipancang di dalam tanah lempung, digunakan faktor adhesi (α) yang dikumpulkan McClelland (1974) pada Gambar 3.7. Tahanan gesek tiang dinyatakan oleh persamaan (3.12) :

$$Q_s = A_s f_s \quad ....(16)$$

$$f_s = c_d = \alpha.c_u \quad ....(17)$$

dengan,

Q_s = tahanan gesek ultimit (kN)

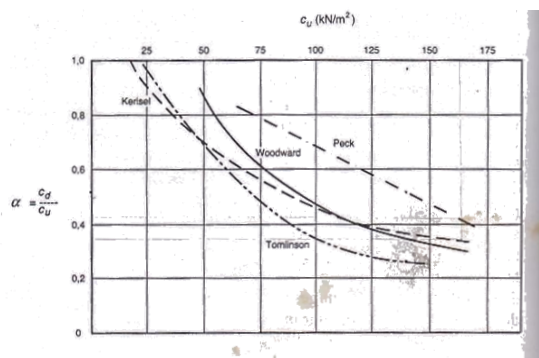
A_s = luas selimut tiang (m²)

f_s = tahanan gesek per satuan luas (kN/m²)

c_d = adhesi antara tiang dan tanah di sekitarnya (kN/m²)

α = faktor adhesi diambil dari Gambar1

c_u = kohesi tak terdrainase rata-rata di sepanjang tiang (kN/m²)

Berikut ini gambar faktor adhesi (α) yang dikumpulkan McClelland (1974):

Gambar 1. Faktor adhesi (α) yang dikumpulkan McClelland (1974)

Metode Tomlinson 1977

Dalam metode Tomlinson, 1977 (dalam Hardiyatmo, 2011), tahanan gesek tiang juga dinyatakan dalam persamaan berikut ini :

$$Q_s = A_s f_s \quad \text{.................................(18)}$$

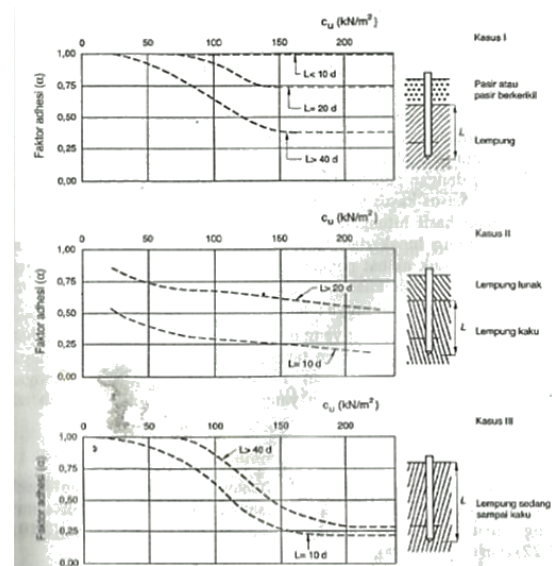
$$f_s = c_d = \alpha . c_u \quad \text{.........................(19)}$$

dengan,

c_d = adhesi antara tiang dan tanah di sekitarnya (kN/m²)

α = faktor adhesi diambil dari Gambar 2

c_u = kohesi undrained (kN/m²)

Untuk faktor adhesi, Tomlinson, 1977 (dalam Hardiyatmo, 2011) memperhatikan pengaruh bentuk-bentuk lapisan tanah seperti yang diperlihatkan dalam Gambar 2.

Gambar 2. Hubungan antara faktor adhesi dan kohesi untuk tiang pancang dalam tanah lempung (Tomlinson, 1977)

Kapasitas Dukung Tiang Kelompok

Terzaghi dan Peck, (1948) menyatakan kapasitas ultimit dalam persamaan :

$$Q_g = 2D(B + L)c + 1{,}3 c_b N_c BL \quad \text{.... (20)}$$

dengan,

Q_g = kapasitas ultimit kelompok tiang, nilainya harus tidak melampaui nQ_u (dengan $n =$ jumlah tiang dalam kelompoknya) (kN)

c = kohesi tanah di sekelilingi kelompok tiang (kN/m²)

c_b = kohesi tanah di bawah dasar kelompok tiang (kN/m²)

B = lebar kelompok tiang, dihitung dari pinggir tiang-tiang (m)

L = panjang kelompok tiang (m)

D = kedalaman tiang di bawah permukaan tanah (m)

N_c = faktor kapasitas dukung

Faktor pengali 1,3 pada suku persamaan kedua adalah untuk luasan kelompok tiang yang berbentuk empat persegi panjang. Untuk bentuk-bentuk luasan yang lain dapat disesuaikan dengan persamaan-persamaan kapasitas dukung Terzaghi pada pondasi dangkal.

Kapasitas Ijin tiang

Untuk memperoleh kapasitas ijin tiang, maka kapasitas ultimit tiang dibagi dengan faktor aman tertentu. Fungsi faktor aman adalah :

1. Untuk memberikan keamanan terhadap ketidakpastian dari nilai kuat geser dan kompresibilitas yang mewakili kondisi lapisan tanah.
2. Untuk meyakinkan bahwa penurunan tidak seragam diantara tiang-tiang masih dalam batas-batas toleransi.
3. Untuk meyakinkan bahwa bahan tiang cukup aman dalam mendukung beban yang bekerja.
4. Untuk meyakinkan bahwa penurunan total yang terjadi pada tiang tunggal atau kelompok tiang masih dalam batas-batas toleransi.
5. Untuk mengantisipasi adanya ketidakpastian metode hitungan yang digunakan.

Sehubungan dengan butir (4) dari hasil banyak pengujian-pengujian beban tiang, baik tiang pancang maupun tiang bor yang berdiameter kecil sampai sedang (600 mm), penurunan akibat beban kerja (*working load*) yang terjadi lebih kecil dari 10 mm untuk faktor aman yang tidak kurang dari 2,5 Tomlinson, 1977 (dalam Hardiyatmo, 2011). Besarnya beban kerja (*working load*) atau kapasitas dukung tiang ijin (Q_a) dengan memperhatikan keamanan terhadap keruntuhan adalah nilai kapasitas ultimit (Q_u) dibagi dengan faktor aman (F) yang sesuai.

Variasi besarnya faktor aman yang telah banyak digunakan untuk perancangan tiang pancang :

$$Q_a = \frac{Q_u}{2,5} \qquad \text{....................................(21)}$$

dengan,

Q_a = kapasitas dukung tiang ijin

Qu = kapasitas ultimit

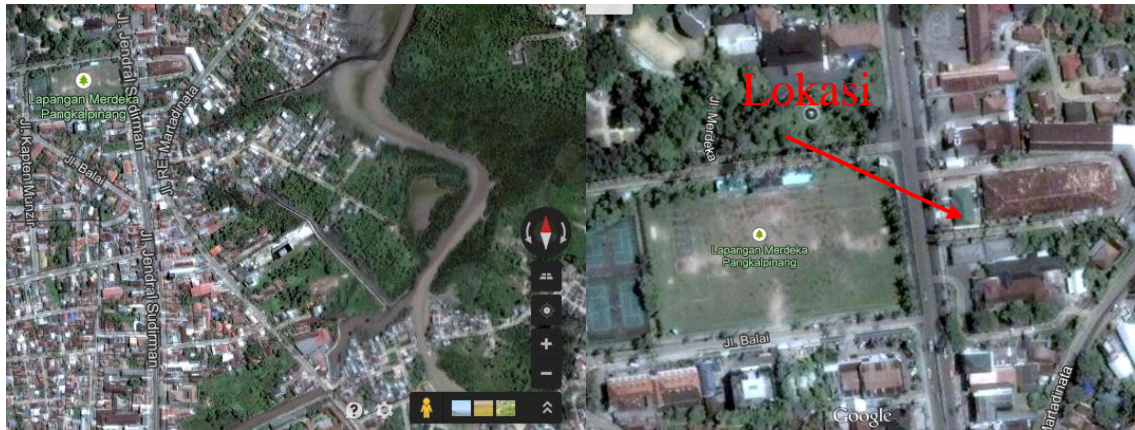
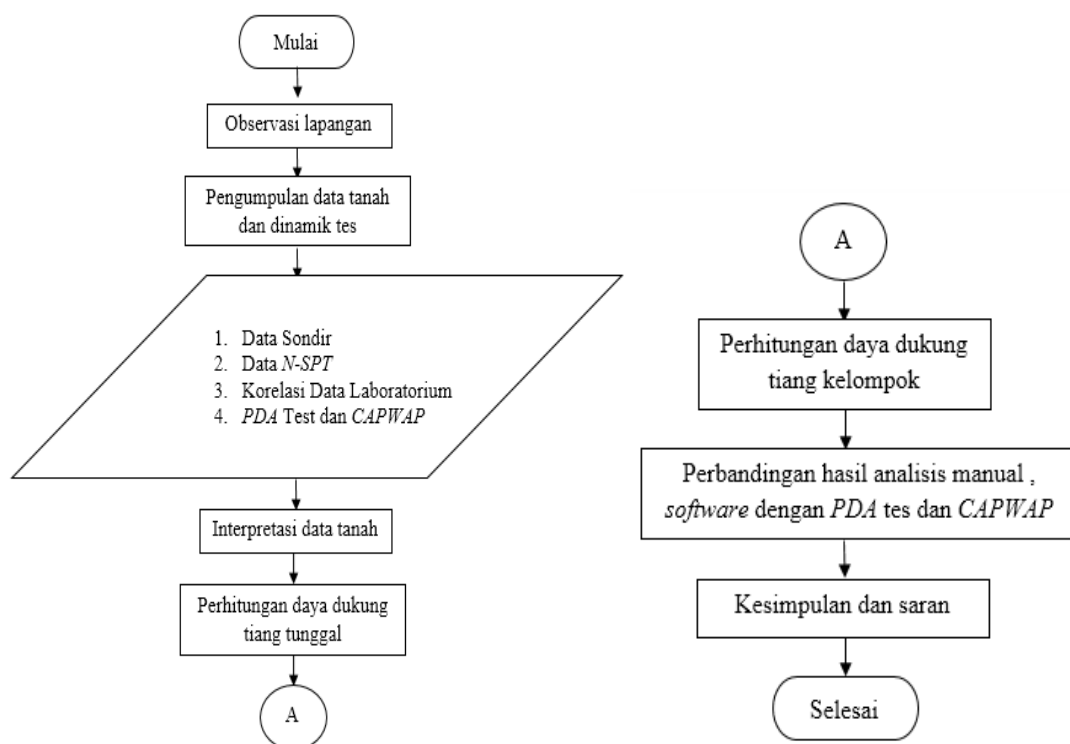
2,5 = Nilai faktor aman yang disarankan Tomlinson, (1977).

METODE PENELITIAN

Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian dalam penelitian ini berada pada Jl. Jendral Sudirman Pangkalpinang. Adapun titik penelitian adalah proyek Pembangunan Gedung Kantor Bank Sumsel Babel. Peta Lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.

Tahapan Penelitian

Tahapan ini disederhanakan dalam bentuk flowchart atau diagram alir sesuai Gambar 4. Diagram alir dimaksudkan untuk mempermudah tahapan-tahapan yang akan dilakukan dalam proses penelitian.

Gambar 3. Peta lokasi penelitian

Gambar 4. Diagram alir penelitian

Metode Analisis

Analisis daya dukung pondasi tiang pancang dilakukan secara manual menggunakan beberapa metode dengan data pengujian yang didapatkan dilapangan berupa, hasil *Cone Penetrasion Test* (*CPT*) dengan Metode Bagemann, deRuiter dan Beringan. Hasil *Standard Penetrasion Test* (SPT) dengan Metode Mayerhof 1976 dan 1956.Hasil Korelasi Data Laboratorium dengan Metode α dan Tomlinson 1977. Analisis Program dengan *Plaxis 2D* V.8 untuk mendapatkan daya dukung ultimit tiang pancang (Q_u).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis manual kapasitas dukung tiang tunggal dan kapasitas ijin tiang untuk

tiang pancang dapat dilihat pada Tabel 3 dan 4 berikut ini :

Tabel 3 Kapasitas ultimit tiang dan kapasitas ijin tiang BH1

Metode	Q_u(ton)	F	Q_a(ton)
Bagemann	*578,6*	*2,5*	*231,44*
deRuiter dan Beringen	*220,95*		*88,38*
Mayerhof 1976	*64,289*		*25,716*
Mayerhof 1956	*128,298*		*51,319*
α	*73,181*		*29,272*
Tomlinson 1977	*104,051*		*41,62*

Tabel 4 Kapasitas ultimit tiang dan kapasitas ijin tiang BH2

Metode	Q_u(ton)	F	Q_a(ton)
Bagemann	*431,92*	*2,5*	*172,768*
deRuiter dan Beringen	*211,5*		*84,6*
Mayerhof 1976	*57,707*		*23,083*
Mayerhof 1956	*118,679*		*47,471*
α	*64,16*		*25,664*
Tomlinson 1977	*74,455*		*29,782*

Perhitungan daya dukung tiang tunggal dengan program *PLAXIS 2D* Versi 8

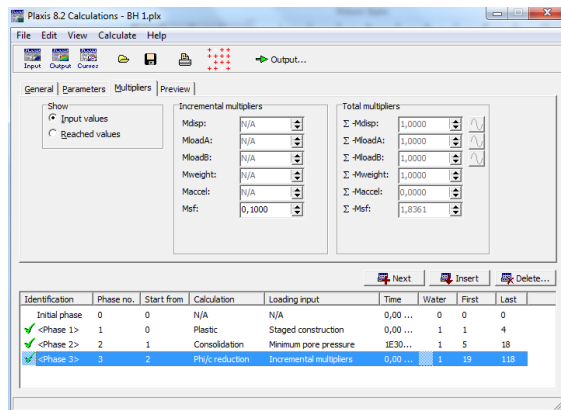
Perhitungan daya dukung pondasi menggunakan metode elemen hingga dengan program *Plaxis 2D* versi 8 untuk mendapatkan kapasitas ultimit (Q_u) tiang tunggal sebagai perbandingan lain berdasarkan analisis program. Parameter-parameter tanah yang digunakan adalah berdasarkan korelasi data tanah dari hasil pengujian SPT yang didapatkan di lapangan. Parameter tanah yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 5 dan 6.

Tabel 5 Parameter-parameter tanah dari titik pengujian BH1

Data Lapangan		*Data Korelasi*							
Kedalaman (m)	*Jenis Tanah*	*cu (kN/m2)*	γ *(kN/m3)*	γ_{sat} *(kN/m3)*	φ *(Clay)*	μ	*E(kN/m2)*	*Kx (m/hari)*	*Ky (m/hari)*
0-5,50	*Lempung*	*36,667*	*17,679*	*17,977*	*29,96*	*0,35*	*2000*	*0,001*	*0,001*
5,5-7,7	*Lanau*	*50*	*21,768*	*21,786*	*31,5*	*0,3*	*2000*	*0,001*	*0,001*
7,7-11	*Lempung*	*60*	*17,679*	*17,977*	*33,88*	*0,35*	*2000*	*0,001*	*0,001*
Nop-15	*Lempung*	*180*	*17,679*	*17,977*	*40,6*	*0,35*	*7000*	*0,001*	*0,001*
15-28	*Lempung*	*375*	*17,679*	*17,977*	*46*	*0,35*	*7000*	*0,001*	*0,001*
28-30	*Lempung*	*375*	*17,679*	*17,977*	*46*	*0,35*	*7000*	*0,001*	*0,001*

Tabel 6 Parameter-Parameter Tanah Dari Titik Pengujian BH2

Data Lapangan		*Data Korelasi*							
Kedalaman (m)	*Jenis Tanah*	*cu (kN/m2)*	γ *(kN/m3)*	γ_{sat} *(kN/m3)*	φ *(Clay)*	μ	*E(kN/m2)*	*Kx (m/hari)*	*Ky (m/hari)*
0-5,10	*Lempung*	*50*	*17,679*	*17,977*	*31,5*	*0,35*	*2000*	*0,001*	*0,001*
5,10-7,60	*Lanau*	*36,667*	*21,768*	*21,786*	*30,33*	*0,3*	*2000*	*0,001*	*0,001*
7,60-8,85	*Lempung*	*56,667*	*17,679*	*17,977*	*32,2*	*0,35*	*2000*	*0,001*	*0,001*
8,85-13,5	*Lanau*	*93,333*	*21,768*	*21,786*	*36,61*	*0,3*	*2000*	*0,001*	*0,001*
13,5-17	*Lanau*	*253,333*	*21,768*	*21,786*	*41,92*	*0,3*	*2000*	*0,001*	*0,001*
17-18,5	*Pasir*	*340*	*21,36*	*21,517*	*46*	*0,3*	*100000*	*86,4*	*86,4*
18,5-24,5	*Lanau*	*356,667*	*21,768*	*21,786*	*46*	*0,3*	*2000*	*0,001*	*0,001*
24,5-30	*Lanau*	*375*	*21,768*	*21,786*	*46*	*0,3*	*2000*	*0,001*	*0,001*

Hasil analisis program *Plaxis 2D* versi 8 yang diperoleh dari pemasukan data input (Tabel 5 dan 6) berupa data korelasi berdasarkan data tanah di lapangan dan data spesifikasi tiang pancang dari Proyek Pembangunan Gedung Kantor Bank Sumsel Babel di Pangkalpinang sebagai berikut.

Gambar 5 Hasil kalkulasi dari fase–fase titik BH1, Nilai Σ –Msf

Besarnya nilai Σ -Msf = 1,8361 dengan data korelasi titik BH1, maka nilai daya dukung ultimit tiang pancang (Q_u) dengan program *Plaxis 2D* versi 8 adalah :

$$Q_{all} = P_{all} = \frac{Q_u}{\sum -Msf}$$

$$Q_u = P_{all} \, x \sum -Msf$$

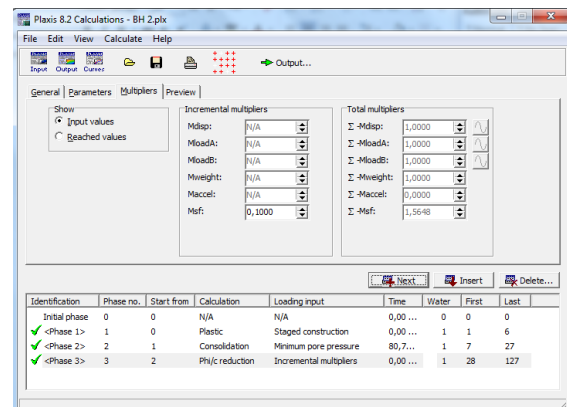
dengan,

$Q_{all} = P_{all}$ = daya dukung ijin tiang = 60 ton

Q_u = daya dukung ultimit (ton)

$\sum -Msf$ = hasil bagi dari parameter kekuatan sebenarnya terhadap parameter kekuatan yang telah direduksi.

Jadi, daya dukung ultimit tiang (Q_u) adalah :

Q_u = 60 Ton x 1,8361 = 110,166 Ton.

Gambar 6 Hasil kalkulasi dari fase–fase titik BH2, Nilai Σ –Msf

Besarnya nilai Σ -Msf = 1,5648 dengan data korelasi titik BH2, maka nilai daya dukung ultimit tiang pancang (Q_u) dengan program *Plaxis 2D* versi 8 adalah :

$$Q_{all} = P_{all} = \frac{Q_u}{\sum -Msf}$$

$$Q_u = P_{all} \, x \sum -Msf$$

dengan,

$Q_{all} = P_{all}$ = daya dukung ijin tiang = 60 ton

Q_u = daya dukung ultimit (ton)

$\sum -Msf$ = hasil bagi dari parameter kekuatan sebenarnya terhadap parameter kekuatan yang telah direduksi.

Jadi, daya dukung ultimit tiang (Q_u) adalah :

Q_u = 60 Ton x 1,5648 = 93,888 Ton.

Perhitungan Daya Dukung Tiang Kelompok

Formula untuk menghitung kapasitas dukung kelompok tiang yang disarankan Terzaghi dan Peck, 1948 (dalam Hardiyatmo 2011) yang digunakan untuk menghitung daya dukung tiang kelompok.

$$Q_g = 2D(B+L)c + 1{,}3c_b N_c BL$$

Hasil perhitungan daya dukung tiang kelompok dan daya dukung ijin tiang kelompok dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7 Kapasitas ultimit kelompok tiang dan kapasitas ijin kelompok tiang

Titik pengujian	Q_g *(ton)*	*F*	Q_{ga} *(ton)*
BH1	*2193,487*	*2,5*	*877,395*
BH2	*1741,716*		*696,686*

Perbandingan Hasil Analisis Manual, *Plaxis 2D* dengan *PDA* dan *CAPWAP*

Perbandingan analisis manual, program Plaxis dengan hasil PDA dan CAPWAP dapat dilihat pada Tabel 8 dan Tabel 9. Analisis manual, hasil analisis program Plaxis pada titik BH1 akan dibandingkan dengan titik hasil PDA dan CAPWAP pada pengujian nomor tiang pancang 175. Analisis manual, hasil analisis program Plaxis pada titik BH2 akan dibandingkan dengan titik hasil PDA dan CAPWAP pada pengujian nomor tiang pancang 126.

Tabel 8. Perbandingan hasil analisis manual, *Plaxis 2D* pada titik BH1 dengan hasil *PDA* dan *CAPWAP*

Metode	Q_u *(ton)*	*PDA No.175 (ton)*	*CAPWAP No.175 (ton)*
Bagemann	*578,6*	*118*	*102*
deRuiter dan Beringen	*220,95*		
Mayerhof 1976	*64,289*		
Mayerhof 1956	*128,298*		
Alpha	*73,181*		
Tomlinson 1977	*104,051*		
PLAXIS 2D V.8	*110,166*		

Tabel 9. Perbandingan hasil analisis manual, *Plaxis 2D* pada titik BH2 dengan hasil P*DA* dan *CAPWAP*

Metode	Q_u *(ton)*	*PDA No.126 (ton)*	*CAPWAP No.126 (ton)*
Bagemann	*431,92*	*165*	*163*
deRuiter dan Beringen	*211,5*		
Mayerhof 1976	*57,707*		
Mayerhof 1956	*118,679*		
Alpha	*64,16*		
Tomlinson 1977	*74,455*		
PLAXIS 2D V.8	*93,888*		

Dari hasil perbandingan pada Tabel 8 dan 9 untuk daya dukung ultimit tiang pancang (Q_u) dapat disimpukan bahwa metode Mayerhof (1956) dengan menggunakan data tanah hasil pengujian SPT memiliki nilai rentang paling kecil dengan hasil pengujian *PDA* dan *CAPWAP* yang didapatkan di lapangan. Sedangkan metode Bagemann dengan menggunakan data tanah hasil pengujian CPT memiliki nilai rentang paling besar dengan hasil pengujian *PDA* dan *CAPWAP* yang didapatkan di lapangan, hal tersebut dikarenakan pada metode ini tidak memperhatikan faktor koreksi kondisi lapangan. Dari hasil analisis dapat disimpulkan bahwa daya dukung pondasi tiang pancang dengan menggunakan data tanah hasil pengujian *N*-SPT lebih mendekati kondisi lapangan

KESIMPULAN

Berdasarkan analisis secara manual beserta program yang telah dilakukan dapat disimpulkan :

1. Daya dukung ultimit (Q_u) pondasi tiang tunggal yang dihitung secara manual dengan beberapa metode yaitu,
   a. Daya dukung ultimit (Q_u) pondasi tiang tunggal dengan metode Bagemann adalah 578,6 ton untuk titik S1 dan 431,92 ton untuk titik S2
   b. Daya dukung ultimit (Q_u) pondasi tiang tunggal dengan metode deRuiter dan Beringen adalah 220,95 ton untuk titik S1, untuk titik S2 adalah 211,5 ton
   c. Daya dukung ultimit (Q_u) pondasi tiang tunggal dengan metode Mayerhof (1976) adalah 64,289 ton untuk titik BH1 dan 57,707 ton utuk titik BH2
   d. Daya dukung ultimit (Q_u) pondasi tiang tunggal dengan metode Mayerhof (1956) adalah 128,298 ton untuk titik BH1 dan 118,679 ton untuk titik BH2
   e. Daya dukung ultimit (Q_u) pondasi tiang tunggal dengan metode α adalah 73,181 ton untuk titik BH1 dan 64,160 ton untuk titik BH2
   f. Daya dukung ultimit (Q_u) pondasi tiang tunggal dengan metode Tomlinson (1977) adalah 104,051 ton untuk titik BH1 dan 74,455 ton untuk BH2
   g. Daya dukung ultimit tiang kelompok (Q_g) adalah 2193,487 ton untuk titik BH1 dan 1741,716 ton untuk titik BH2.
2. Daya dukung ultimit (Q_u) pondasi tiang tunggal yang dihitung dengan program *Plaxis 2D* versi 8 adalah 110,166 ton untuk titik BH1 dan 93,888 ton untuk titik BH2.
3. Metode Mayerhof (1956) dengan menggunakan data tanah hasil pengujian *Standar Penetrasion Test* (SPT) paling mendekati dengan hasil pengujian *PDA* dan *CAPWAP* yang didapatkan di lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

Bowles, Joseph E, 1993, *Analisis dan Disain Pondasi*, *Edisi Kedua*, *Erlangga*, Jakarta.

Craig, R. F, 1974, *Mekanika Tanah,* Edisi Keempat.

Das, Braja M, 1998*, Mekanika Tanah*, Jilid 1, Erlangga, Jakarta.

Das, Braja M, 1998, *Mekanika Tanah*, Jilid 2, Erlangga, Jakarta.

Hardiyatmo, Hary Christady, 1992, *Mekanika Tanah 1*, Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.

Hardiyatmo, Hary Christady, 2007, *Mekanika Tanah 2*, Edisi Keempat, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.

Hardiyatmo, Hary Christady, 2011, *Analisis dan Perancangan Fondasi I*, Edisi Kedua, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.

Hardiyatmo, Hary Christady, 2011, *Analisis dan Perancangan Fondasi II*, Edisi Kedua, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.

Hidayad, R.A, 2011, *Perbandingan Hitungan Daya Dukung Tiang Pancang Secara Manual dengan Hasil Output Pemeriksaan Pile Driving Analyzer (PDA) pada Proyek Pembangunan FKIK UIN*, Jurnal Teknik Sipil Universitas Islam Negeri.

Kasturi, S. dan Iskandar, R. 2012, *Analisis Kapasitas Daya Dukung Tiang Pancang Tunggal dengan Metode Analitis dan Elemen Hingga*, Jurnal Universitas Sumatera Utara.

Napitupulu, E.D.S. dan Iskandar, R. 2013, *Analisis Kapasitas Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang dengan Metode Analitis dan Elemen Hingga*, Jurnal Universitas Sumatera Utara.

Plaxis Version 8 Material Model Manual